

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik
der Freien Universität Berlin (Oskar-Helene-Heim)

Ehem. Direktor: Prof. Dr. med. A. N. Witt

Untersuchungen des Verhaltens
verschiedener Muskelfasertypen
bei Achillessehnen- und Bicepssehnenrupturen
des Menschen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Maja Drechsler, geb. Gregor
aus Potsdam

1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik
der Freien Universität Berlin (Oskar-Helene-Heim)

Ehem. Direktor: Prof. Dr. med. A. N. Witt

Untersuchungen des Verhaltens
verschiedener Muskelfasertypen
bei Achillessehnen- und Bicepssehnenrupturen
des Menschen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Maja Drechsler, geb. Gregor

aus Potsdam

Referent: Priv.Doiz. Dr. D. Tönnis

Korreferent: Professor Dr.med. G. Friedebold



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fach-
bereiche der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 22. 10. 71

I N H A L T S Ü B E R S I C H T

A. Einleitung und Problemstellung

B. Material und Methodik

C. Ergebnisse

1. Anfärbbarkeit der Muskelfasern

a) M. triceps surae

b) M. biceps brachii

2. Muskelfaserquerschnitt

a) M. biceps brachii

b) M. triceps surae

3. Muskelfaserzahlenverhältnis (Punktzählverfahren)

4. Histologische Befunde

D. Diskussion

E. Zusammenfassung

F. Tabellen

G. Literaturnachweise

A. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Wenn man sich mit dem Verhalten der menschlichen quergestreiften Muskulatur bei traumatischer oder artefizieller Entspannung auseinandersetzt, muß man sich darüber klar sein, daß es funktionell verschiedene Muskelfasertypen gibt.

Untersucht man quergestreifte Muskulatur, so kann man hinsichtlich der Funktion zwei verschiedene Arten von Muskelfasern erkennen:

Erstens die "roten", tonischen oder langsamen Muskelfasern; zweitens die "weißen", phasischen oder schnellen Muskelfasern.

Rein tonische Muskeln gibt es nur bei niederen Tieren. Höhere Tiere zeigen in zunehmendem Maße eine mosaikartige Mischung aus tonischen und phasischen Fasern. Je nach Aufgabe besitzt der Mensch Muskeln, die mehr tonische "rote" Muskelfaseranteile enthalten - so z.B. der M. soleus - oder Muskeln mit höherem Anteil an phasischen "weißen" Muskelfasern - wie z.B. der M. biceps brachii oder der M. gastrocnemius.

Die tonischen roten Muskelfasern weisen sich durch eine lange Kontraktionszeit aus und führen bei niedrigen Reizfrequenzen zum Tetanus. Sie sind trübe und sarkoplasma-reich, die Myofibrillen sind in Bündeln angeordnet - sog. Säulchenfelderung. Ihr Stoffwechsel ist aerob, sie sind ATPase negativ und enthalten viel Myoglobin und weniger Enzyme als die phasischen Muskelfasern. Außerdem sind sie dünner, ihr Mitochondriengehalt ist, gemessen am Faservolumen, höher als bei den dicken phasischen Muskelfasern. Hier liegt das intracelluläre Fett nicht nur in den Mitochondrien sondern auch im Sarkoplasma in Tropfenform vor.

Die phasischen oder tetanischen Muskelfasern sind hell, sarkoplasmaarm und im Durchmesser größer als die tonischen Muskelfasern. Die Anzahl der Myofibrillen ist größer. Die Myofibrillen sind ohne besondere Struktur fein über die Fläche verteilt - sog. Fibrillenfelderung. Ihr Stoffwechsel ist hauptsächlich anaerob. Der ATPase Abbau verläuft schnell, die Hydrolyse ist beschleunigt. Die phasischen Muskelfasern enthalten weniger Myoglobin. Im Vergleich zu den tonischen Fasern weisen sie mehr oxydative Enzyme und weniger Glykogen auf. Wie oben schon erwähnt, ist der Mitochondriengehalt und Fettanteil, gemessen am Faservolumen, geringer als bei den dünnen tonischen Muskelfasern. Auch liegt das Fett im Sarkoplasma nicht in Tropfenform vor.

Bei der Sudan B Färbung werden die Muskelfasern lichtmikroskopisch dunkel angefärbt, die einen hohen Gehalt an Triglyceriden und Phospholipiden (SCHMALBRUCH, 1967) aufweisen. Diese Stoffe befinden sich hauptsächlich in den Mitochondrien, dem eigentlichen Ort des Zellstoffwechsels. Man kann nach Färbung mit Sudan B lichtmikroskopisch in jedem Falle mindestens zwei bis drei Fasertypen erkennen.

Es interessiert weiterhin der Zusammenhang zwischen Stoffwechsel und Funktion und die Frage, ob ein bestimmter Muskelfasertyp einer bestimmten Funktion zugeordnet werden kann.

Die Beziehungen zwischen Funktion und Stoffwechsel bzw. Färbbarkeit sind bisher nicht restlos geklärt.

In der Literatur beziehen sich Angaben hauptsächlich auf Untersuchungen von Vertebraten- und Säugetiermuskulatur. Humane quergestreifte Muskulatur ist aus naheliegenden Gründen am wenigsten untersucht. Wie weit Befunde von Untersuchungen z.B. an Ratten, Mäusen oder Affen auf Menschen übertragen werden können, ist eine strittige Frage.

KRÜGER (1951, 1952) experimentierte am Kaltblüter und stellte einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion fest. Er fand histologische Strukturen, die einen Tetanus auslösen, und andere, die für den Tonus verantwortlich sind. Er übertrug diese dualistische Klassifizierung vom Kaltblüter auf den Vertebraten, was von KUSCHINSKY et al. (1956) überprüft und bestritten wurde. Dieser führte Experimente an Ratten durch und wies nach, daß verschiedene histologische Strukturen dieselben Funktionen auslösen können. Weiterhin fand er keine Faseranteile, die ausschließlich für den Tonus verantwortlich sind.

Weitere Anhänger von KRÜGERS dualistischer Klassifizierung sind: ORTMANN (1951), KUFFLER (1953), SMITH (1956), PEACHY (1962), SRETER (1964), OGATA and MORI (1964). Da die Verhältnisse noch nicht restlos geklärt waren, wurde auf diesem Gebiet weitergeforscht, aber es liegen auch jetzt noch keine klaren Erkenntnisse vor. Drei Fasertypen werden von HENNEMANN und OLSON (1965) sowie GAUTHIER und PADYKULA (1966) beschrieben. FORSSMANN (1967) widerspricht einer dualistischen Typeneinteilung. Jede Muskelfasergruppe enthalte zahlreiche Varianten von Muskelfasertypen. Es seien lediglich durch die funktionellen Varianten der Muskelfasern bestimmte morphologische Eigenschaften festgesetzt. Auch SCHMALBRUCH (1967) beschreibt nicht nur zwei bzw. drei Fasertypen, sondern viele Faserformen.

Lichtmikroskopische Untersuchungen menschlicher Muskulatur in bezug auf Struktur sind erst in geringem Maße durchgeführt worden. So unterschied WOHLFART (1937) als erster zwei Muskelfasertypen bei menschlichen Feten und Neugeborenen: sog. A Fasern und B Fasern. BOURNE (1960) jedoch konnte beim Erwachsenen WOHLFARTs Funde nicht bestätigen und bestritt eine Unterscheidung zwischen A und B Fasern. BREEMANN (1960), PRICE (1963, 1965)

und SHAFIC (1966) fanden übereinstimmend drei verschiedene Muskelfasertypen. Es wurden auch Vergleiche zur Muskulatur von Tieren angestellt, jedoch kann darüber noch keine Klarheit herrschen, da die humane Muskulatur noch zu wenig untersucht ist.

Betrachtungen über das morphologische Substrat nach Tenotomie bei Tieren fanden zahlreich statt. So fand ECCLES (1944) als erster nach Tenotomie beim langsamen M. soleus des Kaninchens einen stärkeren Gewichtsverlust als bei anderen Beinmuskeln. - McMINN und VRBOVA (1962, 1964, 1967) konnten diesen Befund bestätigen. Sie fanden beim M. soleus des Kaninchens neben einer Volumenabnahme des gesamten Muskels lichtmikroskopisch auch echte Degenerationerscheinungen: Atrophie der Muskelfasern, Bindegewebsvermehrung, Lipoideinlagerungen in den Zellen und intracelluläre Vacuolenbildung. Weiterhin konnte ECCLES (1944) durch LIPSCHÜTZ und AUDOVA (1951), GUTMANN und VRBOVA (1952) sowie McMINN und VRBOVA (1962) bestätigt werden, daß die Volumenabnahme und die Degenerationerscheinungen besonders bei langsamen Muskeln, wie hier beim M. soleus, deutlich sind. Schnelle Muskeln - z.B. der M. peroneus longus - zeigen hierzu im Vergleich weniger Degenerationerscheinungen nach Tenotomie.

Auf dem Gebiet histologischer Veränderungen nach Tenotomie forschten auch BULLER und LEWIS (1965) sowie BERGMANN und AFIFI (1969). Sie stimmen mit den von ECCLES, McMINN und VRBOVA gefundenen histologischen Veränderungen überein. - GINETZINSKIJ et al. (1945) konnten zusätzlich beobachten, daß der Gewichtsverlust des M. soleus nach Tenotomie aufgehoben werden konnte, wenn man den zugehörigen motorischen Nerv durchschnitt. McMINN und VRBOVA (1962, 1967, 1963, 1964) haben dieses Phänomen ebenfalls feststellen können. Der tenotomierte M. soleus degenerierte nicht bei Nervendurchtrennung oder Rückenmarksdurchschneidung an entsprechender Stelle. Reizt man jedoch den

tenotomierten und nervendurchtrennten M. soleus elektrisch mit 10 imp/sec., so treten die degenerativen Veränderungen auf, die man auch nach Tenotomie ohne Nervendurchtrennung finden kann. McMINN und VRBOVA (1964, 1967) stellen deswegen die Hypothese auf, daß die degenerativen Veränderungen des tenotomierten langsamen M. soleus des Kaninchens durch Muskelaktivitätszunahme bedingt sind, also supraspinale Ursache haben. Durch welchen Mechanismus dieses Phänomen bewirkt wird, bleibt vorläufig ungeklärt.

Ergänzend sei erwähnt, daß bei denervierten Muskeln - ohne gleichzeitige Tenotomie - histologische Veränderungen gleichmäßig langsame und schnelle Muskeln, rote und helle Fasern betreffen (McMINN und VRBOVA, 1964, 1967; PUZANOVA, 1966; GUTMANN, 1962).

Beim Menschen kann man Folgen der Muskelentspannung sehr gut nach Biceps- und Achillessehnenrupturen beobachten. Es interessiert hier die Frage, ob ebenfalls, wie bei den Tierversuchen, eine Atrophie der einzelnen Fasern und echte Degenerationerscheinungen auftreten; weiterhin, ob bestimmte Fasern von diesen Veränderungen besonders oder ausschließlich betroffen sind, oder ob prinzipielle Unterschiede zu den Untersuchungen bei Tieren vorliegen.

B. MATERIAL UND METHODIK

Bei der operativen Versorgung von Sehnenrupturen wurden bei zehn Männern im Alter von 22 bis 65 Jahren insgesamt zehn Biopsien am M.biceps brachii cap.long. und fünf am cap.med. desselben Muskels vorgenommen. - Bei der operativen Versorgung von Achillessehnenrupturen wurden bei drei Frauen im Alter von 23 bis 33 Jahren und siebzehn Männern im Alter von 30 bis 63 Jahren insgesamt zwanzig Biopsien am M.soleus und vierzehn am M. gastrocnemius durchgeführt. - Die Zeit zwischen Unfall und Operation schwankte zwischen zwei Tagen und vier Monaten.

Die Rupturen traten teils bei körperlichen Belastungen auf, beim Sport oder auch bei Traumen. Es ist jedoch bekannt - und ließ sich auch hier bestätigen -, daß bereits degenerative Sehnenveränderungen vorliegen müssen, wenn eine Biceps- oder Achillessehne reißt.

Untersuchungsmethodik

Fixation: Die Biopsien wurden als erstes mit Nadeln auf Kork befestigt, 15 Minuten in eine feuchte Kammer eingebracht und anschließend 24 Stunden in eine Formalinlösung (6 % Formalin, 4,5 % Glucose, Ringerlösung ad 1000) gelegt. Nach der Fixation wurden im Gefrierschnittverfahren (Einfrieren des Präparates mit Kohlendioxidschnee und Schneiden im Kryostaten -System Duspiva-) Schnitte von 20 und 30 u Dicke gewonnen. Die 20 u dicken Schnitte wurden nach van Gieson und mit Hämatoxylin-Eosin, die 30 u dicken Schnitte mit Sudan B gefärbt.

Messung der Faserquerschnitte: Um zu prüfen, ob Muskelfasern beim Menschen bei Entspannung atrophieren, wurden Messungen an den Faserquerschnitten vorgenommen. Die Fasern haben im allgemeinen einen polygonalen Querschnitt, eine genaue Querschnittsmessung wäre daher ziemlich auf-

wendig. Da wir jedoch nur an einem Mittelwert einer möglichst großen Anzahl von Fasern und nicht an der einzelnen Faser interessiert sind, wurden lediglich zwei aufeinander senkrecht stehende Faserdurchmesser gemessen. Diese wurden so ausgewählt, daß die daraus errechenbare Querschnittsfläche $d_1 \times d_2$ etwa der wirklichen Fläche entspricht. Die bei dieser Methode sicherlich auftretenden Meßfehler werden statistisch verteilt sein und sich daher bei der Mittelwertbildung herausheben.

Meßtechnisch wäre noch zu bemerken, daß nur Fasern vermessen werden sollten, deren Querschnitt nicht allzu sehr von der Kreisform abweicht, da bei stärker ovalen oder rechteckigen Querschnitten die Fasern meist schräg angeschnitten worden sind. Ferner wurden am Rande oder freiliegende Fasern nicht verwertet, da deren Durchmesser artefiziell - z.B. durch Einwirkung des Fixierungsmittels oder mechanisch - verändert sein können.

Mittelwertbildung: Als nächstes wäre in diesem Zusammenhang zu diskutieren, wie die Mittelwertbildung vorgenommen werden sollte. Es existieren nämlich durchaus verschiedene Möglichkeiten, Mittelwerte zu bilden, die dementsprechend auch mehr oder weniger stark voneinander abweichen.

Eine erste Möglichkeit wäre die Bildung eines mittleren arithmetischen Durchmessers aus der Summe aller Meßwerte dividiert durch ihre Anzahl. Dieses Ergebnis zeichnet sich dadurch aus, daß die zugehörige Rechenvorschrift sehr einfach ist; leider ist es vom mathematischen Standpunkt aus falsch. Schon allein deshalb ist es falsch, weil hier ein arithmetisches Mittel

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

aus zwei zugehörigen Faserdurchmessern gebildet wird, aber ein geometrisches Mittel $\sqrt{d_1 \times d_2}$ richtig wäre. Damit soll allerdings nicht gesagt sein, daß die Rechenvorschrift für praktische Zwecke unbrauchbar wäre.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Mittelwertbildung aus den korrekt berechneten Faserdurchmessern $d = \sqrt{d_1 \times d_2}$. Aber auch wenn man den die einzelne Faser kennzeichnenden Durchmesser aus einer geometrischen Mittelwertbildung berechnete, wäre die Rechnung falsch, da der Faserdurchmesser kein lineares Maß für den Muskelschwund ist. So hat beispielsweise eine Muskelfaser, deren Durchmesser auf die Hälfte zurückgegangen ist, nicht etwa die Hälfte sondern dreiviertel ihrer Substanz eingebüßt. - Aus diesem Grunde ist es am sinnvollsten, arithmetisch über die Querschnittsflächen der einzelnen Muskelfasern zu mitteln und, da Vergleichswerte in der medizinischen Literatur sich im allgemeinen auf den Durchmesser beziehen, aus der mittleren Querschnittsfläche den entsprechenden mittleren Durchmesser zu berechnen.

Bei den vorliegenden Präparaten wurde die Mittelwertbildung mit Hilfe einer elektronischen Rechenanlage vorgenommen. Daher konnten ohne großen Aufwand alle drei angedeuteten Möglichkeiten durchgerechnet werden. Die sich auf Grund der unterschiedlichen Rechnungen ergebenden Unterschiede des mittleren Faserdurchmessers waren sehr gering. Sie betrugen nur etwa 1 %.

In diesem Zusammenhang ist aber zu bemerken, daß diese Unterschiede nur deshalb so geringfügig sind, weil bei der Messung, wie oben erwähnt, längliche Faserquerschnitte ausgeschlossen wurden, und weil die Fasern sich in ihrer Größe nicht sehr stark unterschieden. -

Zusammenfassend kann man also sagen, daß in dem vorliegenden Fall die Art der Mittelwertbildung ohne wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse ist.

Dennoch ist die Mittelwertbildung über die Faserquerschnittsflächen den anderen Möglichkeiten gegenüber unbedingt vorzuziehen, da - wie schon oben erwähnt - die Querschnittsfläche und nicht der Durchmesser Maß für die Zu- oder Abnahme der Muskelfaser ist. Die Angabe der Fa-

serdurchmesser ist dagegen irreführend.

Die Volumenbestimmung mit dem Integrationsokular: Neben den Messungen der Faserquerschnitte heller, intermediärer und dunkler Fasern besteht auch die Veranlassung, die mengenmäßige Verteilung der drei Komponenten an verschiedenen Präparaten zu bestimmen. Die dazu erforderlichen Messungen wurden nach dem Punktzählverfahren durchgeführt. Hierzu wurde das Integrationsokular Kpl 8 x der Firma Zeiss benutzt. Es enthält eine Glasplatte mit 25 Punkten, die asymmetrisch im Gesichtsfeld angeordnet sind. Eine Augenlinse am Okular erlaubt die Scharfeinstellung des Punktmusters. Diese Festpunktteilung dient zur Mengenbestimmung einzelner Bestandteile eines heterogenen Substanzgemenges nach dem Punktzählverfahren, welches als Weiterentwicklung und Vereinfachung des Integrationsverfahrens mit Längenmessung und Summierung von Strecken zu betrachten ist. Das Punktgitter überdeckt das zu untersuchende Präparat. Kommt ein Punkt auf eine zu bestimmende Komponente des Präparates zu liegen, so wird er als 'Treffer' dieser Komponente zugeordnet. Diese Auszählungen werden zur Erreichung der gewünschten Genauigkeit entweder bei gleich orientierter Testplatte an verschiedenen Objektstellen oder an der gleichen Objektstelle bei verschieden orientierter Testplatte mehrfach wiederholt. Nach den Auszählungen werden die den einzelnen Komponenten zugeordneten Treffer summiert. Die erhaltenen Teilsummen der Komponenten werden mit der Summe sämtlicher Treffer ins Verhältnis gesetzt. Das Verhältnis Teilsumme der Treffer zur Gesamtzahl der Treffer entspricht dem prozentualen Volumenanteil der Komponente, auf die sich die Teilsumme bezieht. Die Zählung kann durch die Verwendung eines handelsüblichen Zählwerkes, welches mehrere Drucktasten-Zähler enthält, vereinfacht werden.

Die Bestimmung der mengenmäßigen Verteilung der ver-

schiedenen Komponenten setzt natürlich voraus, daß diese Komponenten einwandfrei zu unterscheiden sind, oder auf das Punktzählverfahren bezogen, daß die eindeutige Identifizierung aller getroffenen Fasern möglich ist. Diese Voraussetzung war bei einigen Präparaten nicht mehr einwandfrei gegeben, in diesen Fällen ist das Meßergebnis ungenau.

C. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1. Anfärbbarkeit der Muskelfasern

a) M. Triceps surae

Am M. soleus und M. gastrocnemius war zu beobachten, daß sich mit zunehmender Zeitdauer zwischen Unfall und Operation die Unterschiede in der Anfärbbarkeit zwischen den einzelnen Fasertypen verwischten. Von deutlicher Unterscheidbarkeit der drei Fasertypen bis hin zu völliger Nivellierung aller charakteristischen Unterschiede waren alle möglichen Zwischenstadien dieses wahrscheinlich mit der Entspannung zusammenhängenden Prozesses zu erkennen.

b) M. biceps brachii

Am M. biceps brachii hingegen war dieses Phänomen nicht zu beobachten. Lediglich in zwei Fällen waren intermediäre und dunkle Fasern so schlecht voneinander zu unterscheiden, daß sie als ein Fasertyp betrachtet wurden.

2. Muskelfasergröße

a) M. biceps brachii

Am M. biceps brachii fiel vor allem ein krasses Mißverhältnis zwischen der Größe der hellen und dunklen Fasern des entspannten caput longum ins Auge. - Unter der Voraussetzung, daß das Präparat des zugehörigen caput breve, das von der Ruptur nicht betroffen wurde, als normaler Vergleichsmuskel betrachtet werden darf, kann man außerdem sagen, daß das beim caput longum beobachtete Mißverhältnis der Faserquerschnitte sowohl auf eine Verminderung der dunklen und intermediären Faserquerschnitte, als auch auf eine deutli-

che Vergrößerung der hellen Faserquerschnitte zurückzuführen ist. - Leider liegt bei den Bicepssehnenrupturen kein Fall sehr kurzzeitiger Entspannung vor. Die kürzeste Frist zwischen Unfall und Operation, für die ein Präparat vorhanden ist, liegt bei 10 Tagen. Die in diesem Fall erkennbaren pathologischen Veränderungen der Faserquerschnitte sind schon sehr stark ausgeprägt. Dennoch ist bei Vergleich der insgesamt vorliegenden Präparate eine Tendenz zur Zunahme dieser Erscheinungen mit der Dauer der Entspannung erkennbar.

b) M. triceps surae

Im Gegensatz zum M. biceps ergeben sich aber aus den Messungen am M. soleus und M. gastrocnemius keine gesicherten Anhaltspunkte für die absoluten Querschnittsänderungen, da für den M. soleus und M. gastrocnemius keine normalen, dem jeweiligen pathologischen Präparat zugeordneten Vergleichspräparate vorliegen. In Ermangelung einer besseren Vergleichsmöglichkeit kann man zwar die Präparate untereinander vergleichen und dabei feststellen, daß mit zunehmender Zeitdauer zwischen Unfall und Operation die absoluten Faserquerschnitte - sowohl der hellen wie auch der intermediären und dunklen Fasern - im Mittel abnehmen; dieser Vergleich ist aber nur zulässig, wenn man voraussetzt, daß die physiologischen Unterschiede, die sicherlich vorhanden sind, zwischen den verglichenen Muskeln statistisch verteilt sind und daher keinen Einfluß auf das Vergleichsergebnis haben. Bei der relativ geringen Anzahl der Einzelbetrachtungen ist es zumindest fraglich, ob diese Voraussetzung erfüllt ist. Man muß dieses Ergebnis daher mit einiger Vorsicht zur Kenntnis nehmen.

3. Das Muskelfaserzahlenverhältnis

Das Faserzahlenverhältnis helle Fasern zu intermediären und dunklen Fasern ergibt sich aus den prozentualen Substanzanteilen dividiert durch die zugehörigen mittleren Faserquerschnitte und bleibt konstant, wenn sich letztere proportional zueinander ändern.

Die nach dem Punktzählverfahren gewonnenen Meßergebnisse über die prozentualen Anteile des Muskelpräparates an heller, intermediärer und dunkler Substanz entsprechen im wesentlichen den an Hand der Fasermessungen gewonnenen Ergebnissen, d.h. bei all den Präparaten, in denen sich noch drei Fasertypen erkennen ließen, wo beispielsweise eine Vergrößerung der hellen und eine Verkleinerung der dunklen Fasern beobachtet wurden, war auch der prozentuale Anteil an heller Substanz kleiner als bei den zugehörigen normalen Vergleichspräparaten. Aus dieser Tatsache folgt, daß sich das Faserzahlenverhältnis bei der Muskelentspannung nicht verändert.

Das bedeutet weiterhin, daß der beim M. soleus und M. gastrocnemius beobachtete Nivellierungsprozeß alle Fasern gleichzeitig erfaßt und daher auf diesem Wege nicht meßbar ist. Es lassen sich lediglich drei Stadien unterscheiden:

1. Drei Fasertypen
2. Zwei Fasertypen
3. Ein Fasertyp

Bei den Präparaten, bei denen nur noch zwei Fasertypen unterscheidbar waren, läßt sich allerdings keine Relation zwischen der Fasermessung und den Meßergebnissen aus dem Punktzählverfahren mehr feststellen. Die Erklärung liegt auf der Hand:

Wenn man nur noch hellere und dunklere Fasern unterscheiden kann, liegt das nicht daran, daß ursprüng-

lich intermediäre Fasern teils zu dunklen Fasern geworden sind, sondern daran, daß die hellen und dunklen Fasern sich den intermediären Fasern angeglichen haben. Demnach liegen also - genaugenommen - nur noch intermediäre Fasern vor, die sich noch in hellere und dunklere unterteilen lassen. Die intermediären Fasern sind in der Tat auch dort, wo sie sich eindeutig von den helleren und dunklen Fasern abgrenzen lassen, in sich teils heller teils dunkler. Diese Unterschiede sind aber relativ gering und fließend, so daß die Aufteilung in zwei Fasertypen hier wenig Sinn hat. Andererseits ist es durchaus noch sinnvoll, hellere und dunklere Fasern auszumessen, da man ja freie Hand in der Auswahl der zu messenden Fasern hat, sich daher die relativ hellsten und dunkelsten Fasern aussuchen und alle anderen von der Messung ausschließen kann. Bei diesem Vorgehen hat man mit einiger Wahrscheinlichkeit einen großen Teil der Fasern erfaßt, die ursprünglich hell bzw. dunkel waren, und damit Meßwerte erhalten, die sich sinnvoll einordnen und auswerten lassen.

4. Histologische Befunde

Bei der mikroskopischen Betrachtung der nach Muskelentspannung gewonnenen Präparate - angefärbt mit van Gieson und Hämatoxylin Eosin - konnten keine Veränderungen der Fasern im Sinne einer Degeneration gefunden werden. Das Bindegewebe und die Anzahl der Zellkerne waren nicht vermehrt, es konnte keine degenerative Verfettung beobachtet werden.

In den nach Sudan B gefärbten Schnitten konnten bei einigen Fällen zentrale Aufhellungen in den dunklen Fasern, Vacuolen und Ringbinden gefunden werden. In den hellen Fasern konnte man besonders bei Präpara-

ten des M. soleus bei alten Fällen, d.h. nach langdauernder Entspannung, tropfige schwarze Einlagerungen feststellen, die wahrscheinlich durch stärkere Einlagerung von Mitochondrien bedingt sind.

D. DISKUSSION

Atrophie oder Degenerationerscheinungen mit sich anschließender Vacuolipoidose treten nach verschiedenartigen Schädigungen der quergestreiften Muskulatur auf.

So treten z.B. histologische Veränderungen im Sinne einer Degeneration nach toxischer Schädigung der Muskulatur ein. Oder auch die schon oben erwähnte Rückenmarksdurchtrennung, Denervierung oder Nervenläsion verursachen histologisch Veränderungen der Muskulatur.

In dieser Arbeit handelt es sich um eine andere Schädigungsart, nämlich Inaktivität der Muskulatur durch Tenotomie bei intakter Nervenversorgung. Diese rein mechanisch ausgelösten histologischen Veränderungen wurden zuerst bei Tieren beobachtet.

ECCLES (1944), LIPSCHÜTZ (1951), GUTMANN und VRBOVA (1952), McMINN und VRBOVA (1962, 1964, 1967), BULLER und LEWIS (1965) sowie BERGMAN und AFIFI (1969) fanden übereinstimmend echte Degenerationerscheinungen besonders der langsamen tonischen Muskelfasern. GINETZINSKIJ et al. (1945), VRBOVA (1962, 1963) sowie McMINN und VRBOVA (1964, 1967) vermuten als Ursache dieser degenerativen Veränderungen eine Änderung der EMG-Aktivität, da bei gleichzeitiger Nerven- oder Rückenmarksdurchtrennung die degenerativen Veränderungen vollständig verhindert werden können, jedoch durch elektrische Reizung des tenotomierten nervendurchtrennten Muskels wieder zu provozieren sind.

Echte Degenerationerscheinungen nach Tenotomie bei intakter Nervenversorgung lassen sich bei unseren Untersuchungen an menschlicher quergestreifter Muskulatur nicht feststellen. Wir haben zwar übereinstimmend bei Tier und Mensch eine Veränderung der tonischen Muskelfasern finden können, jedoch haben wir bei unseren Untersuchungen keine echten

Degenerationerscheinungen nachweisen können, sondern nur eine Atrophie der tonischen Muskelfasern.

Es erhebt sich somit die Frage, wie dieser Befundsunterschied von Mensch und Tier zu erklären ist. Bei Kaltblütern findet man Muskeln, die rein tonisch und rot sind und keine phasischen oder weißen Muskelfasern enthalten. Umgekehrt finden sich in den weißen Muskeln keine roten Muskelfaseranteile. Das bedeutet, daß die einzelnen Muskeln ganz bestimmten Funktionen zugeordnet sind und sich gegenseitig nicht ersetzen können. Dieser Befund wird noch erhärtet durch die Tatsache, daß sich beim Kaltblüter in den weißen phasischen Muskelfasern keine Mitochondrien befinden. Diese sind nur in den roten tonischen Muskelfasern zu finden. Die Enzymaktivität und der Zellstoffwechsel sind also festgelegt und kaum variabel. Bei den Säugetieren und schließlich beim Menschen hingegen findet man in zunehmendem Maße eine mosaikartige Mischung der weißen und roten Muskelfasern. Neben dieser Mischung der Muskelfasertypen innerhalb eines Muskels finden sich zusätzlich auch Abstufungen zwischen hellen und dunklen Muskelfasern, die sog. intermediären Muskelfasern. Außerdem gibt es hier im Gegensatz zu den Kaltblütern auch Mitochondrien in den weißen Muskelfasern, d.h. daß in diesen eine größere Enzymaktivität vorliegen muß. Korreliert man diese Strukturmerkmale mit der Funktion, so kann man nicht von vornherein einem bestimmten Muskelfasertyp eine bestimmte Funktion zuordnen. JAKOVLEV (1958) konnte bei Ratten sogar zeigen, daß sich als Anpassungsvorgang die biochemische Zusammensetzung eines Muskels je nach verlangter Funktion ändern kann. Man kann annehmen, daß diese Befunde besonders auch für die menschliche Muskulatur zutreffen. Gemäß ihrer Struktur müssen sich demnach die Muskelfasertypen im Bedarfsfall vertreten können, d.h. die Muskelfasertypen sind zwar normalerweise für eine bestimmte Funktion zuständig, jedoch müssen

sie auch befähigt sein, die Funktion der anderen Faserart zu übernehmen, d.h. die phasischen Fasern müssen auch Spannung und die tonischen Fasern auch kurz andauernde Zuckungen in Notsituationen ausführen können.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsache ist es durchaus gerechtfertigt, die Sudan B positiv angefärbten Muskelfasertypen als tonisch und die Sudan B negativen Fasern als phasisch zu bezeichnen.

Außerdem folgt aus der Tatsache, daß die humane weiße Muskelzelle eine höhere Mitochondrienanzahl und damit auch eine höhere Enzymaktivität als die der Säugetiere aufweist, daß bei Ausfall der tonischen Muskelfasern die tetanischen in stärkerem Maße als bei den Säugetieren die Funktion der Spannung ausüben können. Daraus folgt, daß echte Degenerationerscheinungen der tonischen Muskelfasern - wie sie bei Tieren gefunden werden - verhindert werden können.

Beim M. soleus konnten in einigen unserer Fälle, bei denen die Inaktivität schon länger andauerte, tropfige schwarze Einlagerungen beobachtet werden, die sehr wahrscheinlich durch Mitochondrienzunahme und anschließende artefizielle Verklumpung bedingt sind. Das Ansteigen der Mitochondrienzahl bei Inaktivität kann ebenfalls als Kompensationserscheinung gedeutet werden. Das Ansteigen des Fettgehaltes bedeutet ein Ansteigen der Innervationsrate, also eine Effektivitätssteigerung der Energiegewinnung. Umgekehrt sinkt wahrscheinlich die Innervationsrate der tonischen Muskelfasern nach Abnahme des Fett- bzw. Mitochondriengehaltes. Dieses Phänomen ist ebenfalls besonders gut bei unseren Untersuchungen am M. triceps surae zu sehen. Es tritt bei älteren Fällen ein Nivellierungsprozeß auch der dunklen tonischen Fasern ein, d.h. sie werden heller und nicht mehr unterscheidbar von den intermediären Fasern.

Zusammenfassend kann man sagen, daß unterschiedliche Befunde zwischen Säugetier und Mensch als vermutliche Ursache eine größere Anpassungsfähigkeit der zellulären Enzymaktivität der humanen Muskulatur haben.

Bei unseren Untersuchungsergebnissen fiel weiterhin das unterschiedliche Ergebnis des Verhaltens der Muskelfasergröße des *M. biceps brachii* und des *M. triceps surae* auf. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß in der Entspannung der Muskeln Unterschiede bestehen. Die Ruptur der Achillessehne hat keine so ausgeprägte Entspannung und Inaktivität des *M. triceps surae* zur Folge, wie die Ruptur der langen Bicepssehne. Der *M. triceps surae* ist kürzer und plumper, nach der Sehnenruptur setzen rascher Verklebungs- und Verheilungsvorgänge innerhalb des Paratenonschlauches ein, bei denen der Muskel nicht völlig entspannt ist. Der *M. biceps brachii* ist erheblich länger und setzt mit seiner langen Sehne frei am Tuberculum supraglenoidale scapulae an. Nach der Ruptur kann dieser Muskel bis zu 50 % seiner Länge einbüßen, da die vorher bestehende Spannung völlig entfällt und der Muskel kontrahiert. Man kann also annehmen, daß die unterschiedlichen Befunde beider entspannter Muskeln auf Grund der unterschiedlichen anatomischen Verhältnisse zu erklären sind.

Was nun für den gesamten Muskel gilt, gilt erst recht auch für die einzelne Muskelfaser. Es muß festgestellt werden, ob die Querschnittsvergrößerung der hellen Muskelfasern des entspannten *M. biceps brachii* durch eine echte Hypertrophie bedingt ist, oder ob die Querschnittsvergrößerung auf der Faserverkürzung im Anschluß an die Ruptur beruht. Man kann die Längenänderung bei Entspannung (das Maß, um das der Muskel zusammenschnurrt) berechnen, wenn man voraussetzt, daß sich das Volumen hier der phasischen Fasern vor und nach der Ruptur nicht ändert.

Bezeichnet man mit l_n und l_e die Länge der normalen bzw. entspannten Fasern und mit F_n und F_e die entsprechenden Querschnittsflächen, so gilt $V_n = l_n \times F_n$ und $V_e = l_e \times F_e$. Mit $V_n = V_e = V = l_n \times F_n = l_e \times F_e$ ergibt sich die relative Längenänderung bei Entspannung:

$$\frac{l_n - l_e}{l_n} = 1 - \frac{F_n}{F_e}$$

x = Faserquerschnitt normal

y = Faserquerschnitt entspannt

$Vol_n = l_n \cdot x$ normal

$V_e = l_e \cdot y$ entspannt

$V = V_n = V_e = l_n \cdot x = l_e \cdot y$

$$\frac{l_e}{l_n} = \frac{x}{y} \quad \frac{l_n - l_e}{l_n} = 1 - \frac{l_e}{l_n} = 1 - \frac{x}{y}$$

$$\left(1 - \frac{x}{y}\right) \cdot 100 = \%$$

	x	y	x/y	$1 - x/y$
Zielinski	39	78	50	50,0 %
Massel	35	72	486	51,4 %
Thierschmidt	33	55	60	40,0 %

Aus den aktuellen Meßwerten ergibt sich eine relative Längenänderung des caput longum von 50 % bei Entspannung, wenn man die am caput breve gefundenen Ergebnisse als die auch für das normale caput longum geltenden Werte ansieht. Berücksichtigt man diese Überlegungen bei dem Vergleich der Querschnittswerte für die dunklen Fasern,

so ist bei der Berechnung der offensichtlich eingetretenen Atrophie der dunklen Fasern diese relative Längenänderung zugrunde zu legen.

Die Längenänderung der einzelnen Muskelfasern von ca. 50 % liegt den Erfahrungen aus der Makroskopie nach noch im Normbereich. Eine Hypertrophie der hellen Muskelfasern liegt demnach aller Wahrscheinlichkeit nach nicht vor.

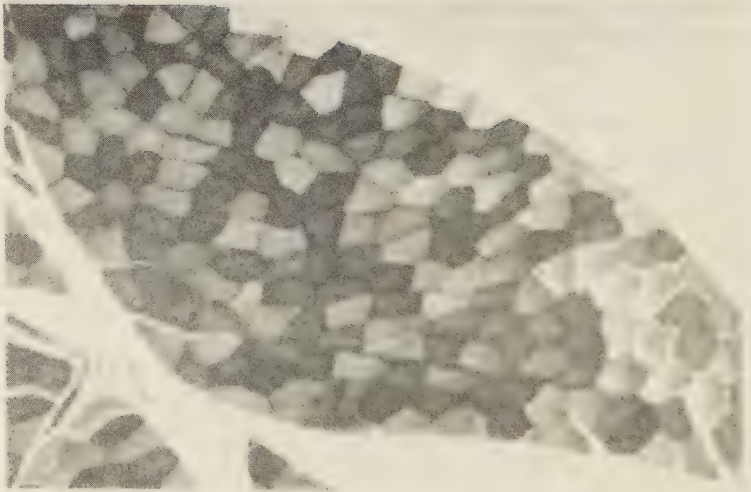


Abb. 1 Muskelfasern des unverletzten caput breve des M. biceps bei proximalem Riß der Sehne des caput longum. Die Fasern zeigen keine wesentlichen Größenunterschiede und normale Anfärbung der verschiedenen Fasertypen. Gefrierschnitt nach Formalinfixierung. Sudan-Schwarz, Vergrößerung 59 mal

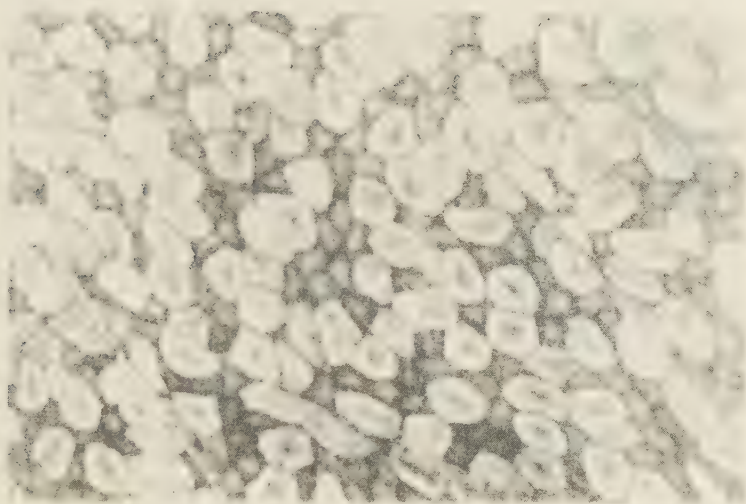


Abb. 2 Muskelfasern eines 39 Tage durch proximalen Sehnenriß entspannten caput longum des M. biceps brachii. Die Querschnittsfläche der hellen Fasern erscheint vergrößert, die der dunklen verringert. Die verschiedenen Fasertypen sind noch zu erkennen.

Gefrierschnitt nach Formalinfixierung.

Sudan-Schwarz, Vergrößerung 59 mal

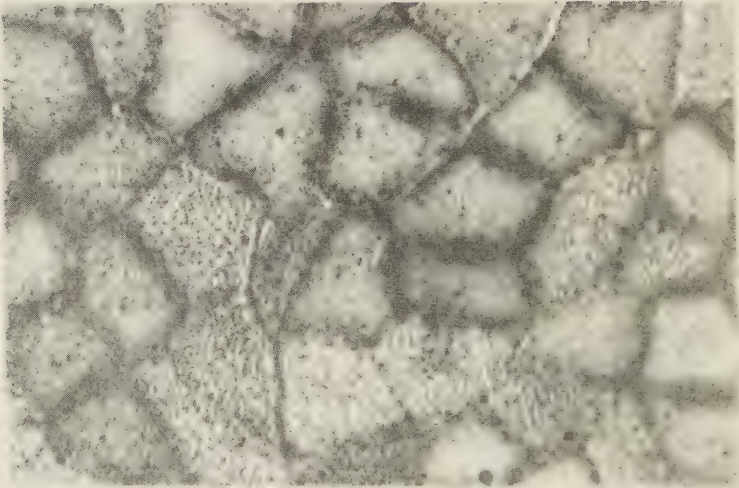


Abb. 3 Fasern des M. soleus bei 1 ¹/₂ Monate altem Achillessehnenriß. Die unterschiedliche Anfärbbarkeit ist verlorengegangen. Die dunklen Fasern sind entfärbt, die hellen vermehrt angefärbt; wahrscheinlich durch stärkere Einlagerung von Mitochondrien. Keine wesentlichen Größenunterschiede.

Gefrierschnitt nach Formalinfixierung.
Sudan-Schwarz, Vergrößerung 146 mal

E. Z U S A M M E N F A S S U N G

1. Bei der operativen Versorgung von Bicepssehnenrupturen wurden bei 10 Männern Biopsien des M. biceps brachii caput longum und z.T. auch Biopsien des M. biceps brachii caput breve des gleichen Patienten gewonnen.

Ebenfalls wurde bei der operativen Versorgung von Achillessehnenrupturen bei drei Frauen und 17 Männern Biopsien des M. triceps surae gewonnen.

2. Die Biopsien wurden nach Formalinfixation im Gefrierschnittverfahren in 20 und 30 μ dicke Schnitte zerlegt und gefärbt:

- a) nach van Gieson
- b) mit Hämatoxylin-Eosin
- c) mit Sudan B

3. Anschließend wurden die Präparate lichtmikroskopisch untersucht:

- a) auf Anfärbbarkeit der einzelnen Muskelfasertypen
- b) auf Veränderungen der Muskelfasergröße
- c) auf eine evtl. Verschiebung des Muskelfaserzahlenverhältnisses
- d) auf histologische Veränderungen im Sinne einer Degeneration.

4. Als Ergebnis zeigte sich:

- a) daß sich die unterschiedliche Fett-Anfärbbarkeit der Muskelfasern des M. triceps surae abweichend vom M. biceps brachii mit zunehmender Zeitdauer zwischen Unfall und Operation aufhoben;
- b) eine Querschnittsvergrößerung der hellen

Muskelfasern des M. biceps brachii - die aber aller Wahrscheinlichkeit nach auf Grund der vorliegenden anatomischen Verhältnisse nur durch die Faserverkürzung nach der Ruptur bedingt sind;

- c) keine Veränderung des Muskelfaserzahlenverhältnisses;
- d) keine histologischen Veränderungen im Sinne einer Degeneration.

Name	(1)		(2)		(3)			Faserquerschnitte			Verhältnis dunk./hell
					%	%	%	hell μ ²	interm. μ ²	dunk. μ ²	
Herbich	m	8. 3.32	2 soleus	24,4	39,7	35,8		5798	5577	6879	1,185
Langhorst	w	23.12.39	2 soleus	31,2	57,2	11,6		7121	6082	4861	0,68
			cap.lat.	28,0	45,0	27,0		3738	3737	3661	0,974
			cap.med.	34,6	--	65,4		7019	--	6165	0,870
Ullrich	m	2.12.04	3 soleus	--	--	--		--	6360	--	--
			gastroc.	73,4	--	21,6		4449	--	3553	0,798
Plümcke	m	24. 1.11	3 soleus	36,6	30,2	33,2		5430	4175	3283	0,605
Lehl		6. 1.21	3 soleus	33,4	53,6	13,0		5651	--	3792	0,668
Kelp	m	17.10.37	4 soleus	20,2	59,0	20,8		5319	5582	5876	1,10
Roggenkamp	w	4. 9.45	5 soleus	79,2	--	20,8		4960	--	3772	0,755
Nitsch	m	17.10.25	6 soleus	17,8	49,1	32,8		8256	6274	5895	0,715
Fischer	m	20. 1.29	6 soleus	22,8	57,2	20,0		9483	7675	7210	0,76
			gastroc.	26,8	56,6	16,6		4263	3913	2821	0,662
Biermath	m	29. 5.26	8 soleus	26,2	54,2	19,6		4708	3747	3921	0,83
			gastroc.	27,0	53,8	19,2		5116	3780	4097	0,80
Senger	m	13. 8.32	45 soleus	28,2	--	71,8		4969	--	2550	0,538
			cap.lat.	49,2	--	50,8		5363	--	3136	0,585
			cap.med.	48,8	--	51,2		6764	--	3662	0,542
Rolke	m	7.10.06	45 soleus	56,8	17,0	26,2		4641	--	3095	0,666
			cap.lat.	48,4	--	51,6		6954	--	6033	0,867
			cap.med.	58,8	--	41,2		5381	--	5133	0,953
Hesse	m	13. 4.11	60 soleus	21,4	59,5	19,1		5807	--	3942	0,679
			gastroc.	51,8	--	48,2		2624	--	2342	0,894
Palmer	m	28. 4.27	75 soleus	48,4	--	51,6		7492	--	5632	0,75
Krause		6. 1.17	75 soleus	30,4	--	69,6		3821	--	3241	0,849
			cap.lat.	--	--	--		5549	3837	3739	0,674
Olbersdorf	w	19.11.35	75 soleus	--	--	--		--	3363	--	--
Kretschmann	m	3. 7.07	90 soleus	--	--	--		--	5271	--	--
Baum	m		120 soleus	42,0	32,8	25,2		4922	--	2341	0,476
			cap.lat.	52,4	--	47,6		1974	--	1317	0,667
			cap.med.	58,8	--	41,2		4055	--	2805	0,692

Tab. 1 M. triceps surae

Anm.: Spalte (1) Geschlecht
 (2) Zeitdauer zwischen Unfall und Operation
 (3) Volumenanteile der hellen, intermediären und dunklen Muskelfasern

Spalte	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Schulz	17. 4.33	10	1.	47,0	34,8	18,2	1247	--	7648	--	0,612	--	--
Wiedicke	26. 9.06	21	1.	35,8	36,0	28,4	4847	3609	2235	0,745	0,461		
			b.	31,6	43,7	24,8	4997	3676	4006			0,735	0,800
Weis	20. 9.19	31	1.	54,8	21,2	24,2	6382	3169	2810	0,496	0,440		
			b.	45,8	25,2	29,0	5106	4586	4315			0,899	0,845
Didi	26. 4.41	37	1.	77,4	--	22,6	4588	--	2722	--	0,539	--	--
Wolff	16. 1.09	39	1.	30,4	58,8	10,8	5367	3837	2829	0,714	0,532	--	--
Hermel	5.12.13	48	1.	70,4	17,6	12,2	8756	--	2001	--	0,228	--	--
Thier- schmidt	23.10.03	56	1.	39,0	36,4	24,6	553	2851	2093	0,516	0,378	0,905	0,695
			b.	45,0	44,8	10,2	3337	3047	2318				
Massel	5. 3.06	69	1.	60,0	24,6	15,4	7190	2293	2351	0,319	0,327	0,765	0,814
			b.	44,6	30,8	24,6	3547	2715	2886				
Zielinski	18. 2.10	72	1.	59,6	22,4	18,0	7810	1911	3203	0,245	0,410	0,885	1,081
			b.	40,0	38,6	21,4	3870	3312	4194				
Mausolf	20. 1.21	120	1.	58,6	32,4	9,0	5183	3420	3408	0,660	0,657	--	--

Tab. 2 M. biceps

- Anm.: Spalte (1) Geburtsdaten der Patienten
 (2) Zeitdauer zwischen Unfall und Operation in Tagen
 (3) Muskelpräparat: l.: cap.longum, b.: cap.breve
 (4), (5), (6) Volumenanteile der hellen, intermediären und dunklen Muskelfasern in %
 (7), (8), (9) Faserquerschnitte der hellen, ²intermediären und dunklen Muskelfasern in μ^2
 (10), (11) Faserquerschnitte der intermediären und dunklen des cap.longum im Verhältnis zu den hellen F.
 (12), (13) wie (10) und (11) für cap. breve

G. LITERATURNACHWEISE

BERGMAN, R.A. and A.K. AFIFI:

Johns Hopkins Med.J. 124, 119-131 (1969)
The structure of the rabbit soleus muscle and the
structural alterations resulting from tenotomy

BOURNE, G.H.:

New York, Academic Press, Inc., 1960, Vol I,3
Structure and function of muscle

BREEMANN, L. van:

Am. J. Path. 37, 215-230 (1960)
Ultrastructure of human muscle. I. Observations
on normal striated muscle fibers

BULLER, A.J. and D.M. LEWIS:

J. Physiol. 178, 326 (1965)
Some observations on the effects of tenotomy in the
rabbit

ECCLES, J.C.:

J. Physiol. 103, 253 (1944)
Investigations on muscle atrophies arising from
disuse and tenotomy

FORSSMANN, W.G. and A. MATTER:

Verh. Anat. Ges., Genf (1967)
Zur Klassifizierung der Skelettmuskulatur

GAUTHIER, G.F. and H.A. PADYKULA:

J. Cell. Biol. 28, 333-354 (1966)
Cytological studies of fiber types in skeletal muscle

GINETZINSKIJ, A.G., Z.M. BARBASHOVA, T.A. GINETZINSKAJA
and N.M. SHAMARINA:

Trudy Fiziol. Instituta I.P. Pavlova 1, 44-51 (1945)
The significance of a nerve factor for disuse
atrophy

GUTMANN, E. and G. VRBOVA:

Physiol. Bohemoslov 1, 205 (1952)

Physiology of the tenotomized muscle

GUTMANN, E.:

Praha, Nakladatelstvi CSAV (1962)

The denervated muscle

HENNEMANN, E. and C.B. OLSON:

J. Neurophysiol. 28, 581-598 (1965)

Relations between structure and function in the design of skeletal muscle

JAKOVLEV, N.N.:

Zh. Obsh. Biol. 19, 407 (1958)

Problems of biochemical adaptation of muscles in dependence of their activity

KRÜGER, P.:

Verh. Anat. Ges., 49 Erg.H. Anat. Anz. 98, 69-77 (1951)

KRÜGER, P.:

Tetanus und Tonus der quergestreiften Skelettmuskeln der Wirbeltiere und des Menschen.

Leipzig, Akad. Verlags-Ges. (1952)

KUFFLER, S. and E.M. WILLIAMS:

J. Physiol. (London) 121, 289-317 (1953)

The distributions of small motor nerves to frog skeletal muscle and the membrane characteristics of the fibers they innervate

KUFFLER, S.W. and E.M. VAUGHAN WILLIAMS:

J. Physiol. 121, 318-340 (1953)

Properties of the "slow" skeletal muscle fibers of the frog

KUSCHINSKY, G., H. LÜLLMAN, W. HOEFKE, E. MUSCHOLL:

Anat. Anz. 13, 116-134 (1956)

Über das Verhalten von Myofibrillen und die Funktion von Rattenmuskeln

LIPSCHÜTZ, A. and A. AUDOVA:

J. Physiol. 55, 300 (1951)

The comparative atrophy of the skeletal muscle after cutting the tendon

McMINN, R.M.H. and G. VRBOVA:

Nature (London) 195, 509 (1962)

Morphological changes in red and pale muscles following tenotomy

McMINN, R.M.H. and G. VRBOVA:

Quart. J. Exp. Physiol. 49, 424 (1964)

The effect of tenotomy on the structure of fast and slow muscle in the rabbit

McMINN, R.M.H. and G. VRBOVA:

Quart. J. Exp. Physiol. 52, 411 (1967)

Motoneurone activity as a cause of degeneration in the soleus muscle of the rabbit

OGATA, T. and M. MORI:

J. Histochem. Cytochem. 12, 171-182 (1964)

Histochemical study of the oxidative enzymes in vertebrate muscle

ORTMANN, R.:

Verh. Anat. Ges. 49, Erg.H. Anat. Anz. 98, 69-77 (1951)

PEACHY L.D. and A.F. HUXLEY:

J. Cell Biol. 13, 177-180 (1962)

Structural identification of twitch and slow striated muscle fibers of the frog

PRICE, H.M., E.L. HOWES, D.B. SHELDON, O.D. HUTSON,

R.T. FITZGERALD, J.M. BLUMBERG and C.M. PEARSON:

Lab. Invest 14, 194-199 (1965)

An improved biopsy technique for light and electron microscopic studies of human skeletal muscle

PRICE, H.M.:

Am. J. Med. 35, 589-605 (1963)

The skeletal muscle fiber in the light of electron
microscopic studies

PUZANOVA, L.:

Sonderabdruck aus Morph. Jahrb. Bd. 109,2, 165-168;
Akad. Verlagsges. Geest u. Portig KG, Leipzig (1966)
Veränderungen der inneren Struktur einiger Muskeln
nach verschiedenartiger Denervation

SCHMALBRUCH, H.:

Z. Zellforsch. 79, 64-75 (1967)

Fasertypen in der Unterschenkelmuskulatur

SHAFIC, S.A., M. GORYCKI, L. GOLDSTONE and A.T. MILHORAT:

Institute for muscle Disease, 515 East 71st street
New York, N.Y. (1966)

Fine structure of fiber type in normal human muscle

SMITH, R.D. and R.P. GIOVACCHINI:

Acta anat. 28, 342-358 (1956)

SRETER, F.A.:

Fed. Proc. 23, 930-932 (1964)

Comparative studies on white and red muscle fractions

VRBOVA, G.:

J. Physiol. 161, 25 P (1962)

The effect of tenotomy on the speed of contraction
of fast and slow mammalian muscles

VRBOVA, G.:

J. Physiol. 166, 241-250 (1963)

Changes in the motor reflexes produced by tenotomy

WOHLFAHRT, G.:

Acta psychiat. et neurol. suppl. 12, 1 (1937)

Über das Vorkommen verschiedener Arten von Muskel-
fasern in der Skelettmuskulatur des Menschen und
einiger Säugetiere

Diese Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Priv.Do. Dr. D. Tönnis, dem für seine Unterstützung mein ganz besonderer Dank gilt.

Ebenso danke ich meinem Mann Dipl. ing. J. Drechsler für die Beratung und Hilfestellung bei der Auswertung der durch Messung gewonnenen Ergebnisse und auch Herrn Priv.Do. Dr. J. Wolff für seine wertvollen Hinweise.

LEBENS LAUF

Am 29.12.1941 wurde ich als Tochter des Arztes und Zahnarztes Dr.Dr.med. Willi Gregor und seiner Ehefrau Rotraut, geb. Jungermann, in Potsdam geboren. Am 3.11.1967 heiratete ich den Diplomingenieur Jürgen Drechsler. Wir haben seit dem 11.12.1970 eine Tochter Inka.

Von 1948 bis 1962 besuchte ich die Schule in Potsdam Sakrow und in Berlin Neukölln. In Neukölln an der Albert-Schweitzer-Schule bestand ich im Frühjahr 1962 die Reifeprüfung.

Ich studierte ohne Universitätswechsel in Berlin an der Freien Universität Medizin. Im Sommersemester 1962 wurde ich immatrikuliert, im Juli 1965 bestand ich das Physikum und im März 1969 das Staats-examen.

